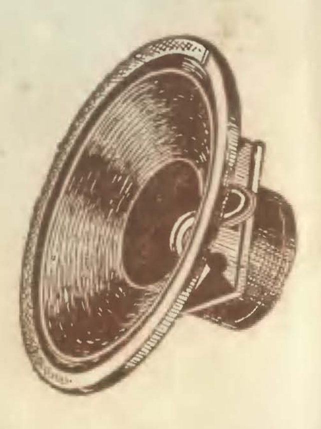
МАССОВАЯ РАДИО-БИБЛИОТЕКА

А. Г. ДОЛЬНИК

ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ



Госэнергоиздат

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 184

А. Г. ДОЛЬНИК

ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1953 ЛЕНИНГРАД

В брошюре, рассчитанной на подготовленных радиолюбителей, описывается устройство, принцип действия и особенности громкоговорителей, имеющих практическое применение.

Приводятся также краткие сведения о физиологии слуха и требования к современной звуковоспроизводящей аппаратуре.

СОДЕРЖАНИЕ

Редактор *Р. М. Малинин* Техн. редактор *И. М. Скворцов*

Разрешено к набору 3/VI 1953 г. Подписано к печати 15/VII 1953 г.
Бумага 84/108[1]/[32]. Объем 2,46 п. л. Уч.-изд. л. 3,6
Т-05244 Тираж 25 000 экз. Цена 1 р. 15 к. Зак. № 176

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

Электрические приборы, позволяющие осуществлять громкое воспроизведение речи и музыки, были изобретены в нашей стране русским ученым кандидатом естественных наук Ю. Охоровичем. Первые в мире опыты громкого воспроизведения речи, переданной по проводам на большое расстояние, он произвел в восьмидесятых годах прошлого века.

В 1885 г. на 3-й Электротехнической выставке, организованной в Петербурге Русским техническим обществом, Ю. Охорович вместе с другими русскими изобретателями Голубицким, Вреденом и Столповским оборудовал зал для слушания громкоговорящих передач. Этот зал привлек внимание большого числа посетителей выставки.

В 1886 г. Ю. Охорович получил патент на «двухдиафрагменный телефон», являющийся прообразом современных громкоговорителей.

Однако громкоговорящие установки только после Великой Октябрьской социалистической революции стали служить широким народным массам.

В 1921 г. громкоговорители были установлены в Москве на Советской площади, на балконе здания Московского Совета. Опытные передачи через эти громкоговорители (чтение книг), которые велись по проводам с Московской центральной телефонной станции, были отчетливо слышны на противоположном конце Советской площади.

17 июня 1921 г. громкоговорители были установлены на площадях: Свердлова, Серпуховской, Бауманской на Девичьем поле и у Крестьянской заставы. Передача к ним подавалась также по телефонным проводам.

С этого дня через эти громкоговорители москвичи регулярно в вечернее время слушали передачу «Устной газеты РОСТА» (Российского телеграфного агенства), популярные

лекции и рекламу. Все эти передачи пользовались огромным успехом у москвичей.

Особенно широкое развитие получил громкоговорящий прием по радио и по проводам после 1924 г.

В это время нашей промышленностью были разработаны комнатный диффузорный громкоговоритель «Рекорд» и рупорный громкоговоритель «ТМ» для обслуживания больших помещений, улиц и площадей. Качество их звучания с современной точки зрения было невысоким, но тем не менее они сыграли важную роль в деле развития радиовещания.

Дальнейшее развитие советского радиовещания, а затем и звукового кино, рост культурного уровня трудящихся нашей страны вызвали активную работу советских ученых и инженеров в области теоретических исследований и практических разработок более совершенных конструкций громкоговорителей.

В результате работ советских ученых А. А. Харкевича, В. В. Фурдуева, В. С. Григорьева, Ю. М. Сухаревского, Л. Д. Розенберга и многих других были разработаны и стали выпускаться промышленностью электродинамические диффузорные и рупорные громкоговорители.

В настоящее время громкоговорители этих типов широко применяются в радиовещательных и звукозаписывающих установках.

Многие работы советских ученых в области теории и расчета электродинамических громкоговорителей намного опередили аналогичные работы, проводимые за границей.

В послевоенный период теоретические исследования в этой области значительно расширились, и к настоящему времени разработано много новых типов громкоговорителей, начиная от модернизированного «Рекорда» и кончая мощными громкоговорителями с разными системами рупоров и двухполосными громкоговорителями для кинотеатров.

В последние годы наряду с расширением производства разных типов громкоговорителей несоизмеримо повысилось и их качество.

ЗВУК И СЛУХ

Громкоговорители должны воспроизводить без заметных искажений речь, пение, музыку, шумы и другие звуки.

Звуком мы называем упругие волны, возникающие в твердой, жидкой или газообразной среде под действием механических колебаний, совершаемых каким-либо телом. Нас

будут здесь интересовать только упругие волны, возникающие в окружающей воздушной среде, которые воздействуют на человеческое ухо и вызывают в нем звуковое ощущение.

Каждый звук характеризуется прежде всего *частотой* (числом колебаний в секунду), выражаемой в герцах (1 *гц* равен одному колебанию в секунду). Наиболее часто встречающиеся музыкальные и речевые источники звуков создают колебания с частотами от 40 до 15 000 *гц.* Частота звука определяет высоту тона; при малой частоте звук обладает низким тоном, а при большой — высоким. Наше ухо способно воспринимать звук, вызываемый только такими механическими колебаниями, частота которых приблизительно лежит в пределах от 20 до 20 000 *гц* (усредненные данные).

Другой величиной, характеризующей звуковые колебания, является *звуковое давление,* измеряемое в барах (1 *бар* равен давлению в 1 дину на 1 $см^2$), или же связанная с ним *сила* или *интенсивность* звука, измеряемая в ваттах на квадратный сантиметр ($вт/см^2$). Человеческое ухо способно воспринимать как звуковое ощущение давления величиной от нескольких тысячных долей бара до сотен бар. Наиболее часто встречающиеся музыкальные и речевые источники звуков развивают давление в пределах от 0,0063 до 20 *бар,* что соответствует силе звука от $5 \cdot 10^{-14}$ до $5 \cdot 10^{-7}$ $вт/см^2$. Таким образом, наибольшее изменение по давлению составляет 3 170 раз, а по силе звука 10 млн. раз. Отношение максимального и минимального звуковых давлений, которые может создать какой-либо источник звука, называется *динамическим диапазоном.* Наибольшим динамическим диапазоном, охватывающим указанные пределы по давлению и силе звука, обладает большой симфонический оркестр.

Для уяснения основных физических особенностей источников звука следует указать, что речь и музыка представляют собой сочетание разнообразных по частоте и силе звуков, все время изменяющихся в процессе звучания. Даже звук, произведенный голосом певца или инструментом и воспринимаемый как тон определенной высоты, на самом деле содержит ряд дополнительных тонов (различных по силе звука), частоты которых в 2, 3, 4 и т. д. раз больше основной частоты звука. Эти дополнительные тона называются *гармониками* или *обертонами.* Их относительной силой обусловливается *тембр* («окраска») звука.

Едва заметная на слух сила звука, слабее которой ухо уже не слышит, называется *порогом слышимости*. Он зависит от частоты, причем область наибольшей чувствительности уха приходится на средние частоты (при 1 000 *гц* порог равен 10^{-16} *вт/см*^{2}). Значительно меньшей чувствительностью ухо обладает на нижних (при 100 *гц* порог равен 10^{-12} *вт/см*^{2}) и верхних частотах.

При очень большой силе звука ухо ощущает болевое раздражение; ощущение этой силы звука называется *порогом болевого ощущения*. Он мало зависит от частоты и имеет место при силе звука, равном примерно 10^{-4} *вт/см*^{2}.

Таким образом, на средних частотах ухо способно воспринимать звуковые колебания, отличающиеся по силе более чем в 10^{12} раз. В области же нижних частот, например, на частоте 50 *гц* этот диапазон уменьшается до 10^7 раз. В области верхних частот также наблюдается уменьшение диапазона чувствительности уха.

Субъективной оценкой силы звука является *громкость*, характеризующая величину слухового ощущения. Однако два тона одинаковой силы, но разной частоты вследствие неравномерной чувствительности уха к различным частотам вызывают ощущение неодинаковой громкости.

Зависимость громкости звука от его силы с достаточной точностью подчиняется основному психофизическому закону, в развитии которого большую роль имели работы акад. П. П. Лазарева. Закон этот устанавливает, что *с изменением силы звука* (например, при увеличении звуковой энергии, излучаемой громкоговорителем) *субъективное ощущение громкости изменяется пропорционально логарифму изменения силы звука*. Отсюда становится совершенно понятной способность уха реагировать на звуки, отличающиеся по своей силе в огромное число раз.

Зная, что ощущение громкости растет или убывает по логарифмическому закону, для относительного определения изменения громкости удобно применять логарифмическую шкалу (шкалу *децибел*). Такой же шкалой широко пользуются для определения силы звука и величины звукового давления.

При вычислениях абсолютных значений силы звука и звукового давления за условный нулевой уровень принимается пороговая громкость тона в 1 000 *гц*, соответствующая силе звука 10^{-16} *вт/см*^{2} или звуковому давлению $2 \cdot 10^{-4}$ *бар*. Особенность слуха реагировать на громкость

в зависимости от частоты и силы звука выражается семейством кривых равной громкости. Анализ этих кривых показывает, что при уровне силы звука в 60 *дб* тон с частотой 50 *гц* воспринимается с громкостью, несколько большей 10 *дб*, тон с частотой 200 *гц* — в 5 раз громче (уровень громкости 50 *дб*) и одинаково громко с тоном в 7 000 *гц* и только в пределах 500—5 000 *гц* громкость приблизительно соответствует силе звука. При понижении уровня силы звука соотношения эти изменяются, причем понижение громкости ухудшает восприятие нижних и самых верхних частот.

Как же приведенные данные о звуке и слухе учитываются в звуковоспроизводящих системах и, в частности, в громкоговорителях, к которым предъявляются требования натуральности звучания?

Выше указывалось, что большинство источников звука создают колебания с частотами примерно от 40 до 15 000 *гц*, а ухо человека способно воспринимать звуки в частотном диапазоне от 20 до 20 000 *гц*. Но создать звуковоспроизводящую систему с такой полосой не всегда возможно. Поэтому допускается сужение этого диапазона до пределов, при которых искажения звучания практически почти незаметны.

На основании экспериментальных данных советский ученый проф. И. Е. Горон предложил следующую классификацию звуковоспроизводящих систем по ширине пропускаемого диапазона частот:

Высший класс — от 30 до 13 000 *гц* (неискаженное воспроизведение).

Первый класс — от 50 ÷ 80 до 10 000 ÷ 8 000 *гц* (высококачественное воспроизведение).

Второй класс — от 100 до 5 000 *гц* (воспроизведение среднего качества).

Третий класс — от 300 до 2 500 *гц* (воспроизведение низкого качества).

Следует отметить, что в пределах заданного диапазона усилительная и акустическая аппаратура обычно не обладает линейной частотной характеристикой, т. е. звуки разных частот усиливаются и воспроизводятся ею неравномерно. Допустимые величины этих искажений установлены опытом.

Динамический диапазон различных музыкальных произведений, начиная от сольных голосовых и инструментальных и кончая многочисленными оркестровыми и хоровыми, весьма сильно изменяется.

Наибольшим динамическим диапазоном, как известно, обладает симфонический оркестр: отношение наибольшей мощности (силы звука) всего оркестра при самом громком звучании к минимальной мощности скрипки в сольном исполнении достигает 10 млн. раз, что соответствует 70 *дб*. Воспроизведение такого большого динамического диапазона сопряжено с значительными трудностями. Верхний предел передаваемых звуковых давлений ограничивается амплитудными характеристиками звуковоспроизводящей аппаратуры, а нижний — шумами, которыми сопровождается всякая передача (фоном питающего напряжения, шумами ламп, шумами в помещении и т. п.). Для восприятия самых слабых звуков необходимо, чтобы их уровень был выше уровня шумов не менее чем на 15 *дб*. Так, если уровень шума в жилом помещении, где установлен громкоговоритель, составляет 30 *дб*, то минимальный уровень передачи должен быть около 45 *дб*. Тогда при передаче большого оркестра максимальный уровень достигнет $45 + 70 = 115$ *дб*. Такая громкость нетерпима для слушателей и к тому же передача будет громко слышна в соседних помещениях. Поэтому в передающих и звукозаписывающих системах принимаются меры для искусственного сжатия динамического диапазона.

Исходя из акустических и технико-экономических условий, установлены следующие нормы динамического диапазона для разных передающих систем. радиовещание и граммзапись 30—40 *дб*; магнитная запись 60 *дб*; вещание по кабелю 50 *дб*; местное звукоусиление 65 *дб*.

Весьма важно сохранение натуральности тембра звука, определяющего его «окраску». Но по тембру отличают только сложные звуковые колебания (форма которых несинусоидальна), представляющие собой сумму излучаемых одновременно синусоидальных колебаний, имеющих разные частоты и амплитуды. Тональное восприятие звука, т. е. его высоту, обусловливает самая низшая частота, входящая в такое сложное колебание.

При передаче звуковоспроизводящей системой чистого (синусоидального) тона почти всегда можно наблюдать присутствие высших гармоник, которых нет в первичном источнике звука. Но в реальной передаче участвуют сложные созвучия, состоящие из большего числа тонов, поэтому кроме гармоник всех этих тонов возможно возникновение так называемых *комбинационных* частот, которые представляют собой суммарные и разностные частоты всех тонов и

их гармоник попарно. Эти новые частотные составляющие появляются тогда, когда в системе звукоусиления при некоторых уровнях передачи (обычно больших) нарушается постоянство отношения выходного и входного сигналов, т. е. когда амплитудная характеристика такой системы нелинейна. Такая система вносит так называемые *нелинейные* (амплитудные) искажения, которые воспринимаются как «нечистое» звучание, с хрипением, дребезжанием и т. п

В громкоговорителях прямого излучения наблюдаются также искажения, обусловленные частотной модуляцией. Эти искажения, не связанные с нелинейностью, возникают при одновременном воспроизведении колебаний двух частот, из которых одна значительно выше другой. При этом высокочастотные составляющие искажаются вследствие больших колебательных скоростей диффузора на нижних частотах.

Из указанных видов нелинейных искажений наиболее изучены искажения, возникающие при передаче чистого (синусоидального) тона. Такие искажения оцениваются *коэффициентом гармоник,* показывающим отношение геометрической суммы амплитуд гармоник к амплитуде основной частоты (в процентах). Измерение коэффициента гармоник производят с помощью специальных приборов, при подаче на громкоговоритель напряжения заведомо синусоидальной формы. Хотя такие измерения и не дают полного суждения о характере и величине вносимых в передачу нелинейных искажений, однако относительно просто позволяют производить сравнительные оценки качества аппаратуры.

КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ

В зависимости от способа преобразования энергии токов звуковой частоты в энергию звукового излучения громкоговорители разделяются на электромагнитные, электродинамические и пьезоэлектрические, а в зависимости от способа излучения звуковых колебаний — на громкоговорители прямого излучения и рупорные Громкоговорители прямого излучения имеют конусные диафрагмы (диффузоры), излучающие звук непосредственно в окружающую воздушную среду, диафрагмы рупорных громкоговорителей излучают звук через рупоры различных форм. Электродинамические

громкоговорители, кроме того, разделяются на громкоговорители с постоянными магнитами и громкоговорители с электромагнитным возбуждением (с подмагничиванием).

Громкоговорители всех видов характеризуются рядом количественных и качественных показателей, основными из которых являются номинальная мощность, отдача или чувствительность, полоса передаваемых частот и неравномерность этой полосы (частотные или линейные искажения), допустимые нелинейные (амплитудные) искажения и направленность излучения.

Номинальная мощность. Средняя электрическая мощность переменного тока, подаваемого на обмотку громкоговорителя, которую последний может выдержать без тепловых или механических перегрузок называется номинальной мощностью. Эта мощность определяется делением общего количества подведенной электрической энергии на время, в течение которого она подводилась. Однако подводимый к громкоговорителю переменный ток имеет очень сложную форму. Он содержит кратковременные пики, во много раз превышающие средний уровень. Поэтому громкоговоритель должен также выдерживать возникающие при этом пиковые мощности.

Отдача и чувствительность. Отношение излучаемой акустической мощности P_a к подводимой электрической P определяет отдачу или коэффициент полезного действия (к. п. д.) громкоговорителя. Это отношение достаточно полно характеризует эффективность преобразования электрических колебаний в звуковые. Однако, чтобы можно было точно определить отдачу, нужны специальная обстановка и сложная аппаратура. Поэтому эффективность громкоговорителя чаще оценивают не по отдаче, а по так называемой *относительной чувствительности* E в барах на вольт, которая легче поддается измерению. Она определяется как отношение звукового давления p в барах в некоторой точке неограниченного звукового поля (измеряется в точке, расположенной по оси громкоговорителя) к напряжению U в вольтах на зажимах громкоговорителя для данной частоты, т. е.

$$E = \frac{p}{U}.$$

Следует отметить, что величина относительной чувствительности не определяет однозначно эффективность работы

различных громкоговорителей, имеющих различные входные сопротивления. Как известно, между мощностью P, напряжением U и полным сопротивлением Z существует следующая зависимость

$$P = \frac{U^2}{Z}.$$

Вследствие этого два громкоговорителя, обладающие одинаковой относительной чувствительностью, но различными сопротивлениями, хотя и создают одинаковое давление в точке измерения, но потребляют разную мощность. Поэтому их нельзя сравнивать по чувствительности. Эффективнее работает громкоговоритель с бо́льшим сопротивлением и, следовательно, потребляющий меньшую мощность.

Более полная оценка различных громкоговорителей возможна тогда, когда берется отношение звукового давления p к квадратному корню из подводимой электрической мощности P:

$$E_{абс} = \frac{p}{\sqrt{P}}.$$

Получаемая из этой формулы величина гораздо полнее характеризует эффективность громкоговорителя и дает возможность сравнивать между собой различные типы громкоговорителей. Величина $E_{абс}$ называется *абсолютной чувствительностью* и измеряется в *бар*/$\sqrt{вт}$. С относительной чувствительностью E она связана соотношением

$$E_{абс} = \frac{p}{U}\sqrt{Z} = E\sqrt{Z}.$$

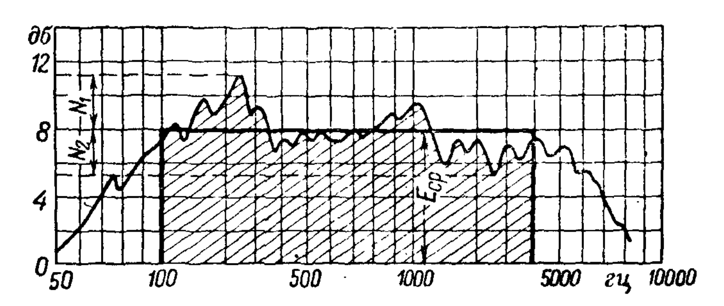
Частотные искажения. Отдача и чувствительность (относительная и абсолютная) громкоговорителей обычно сильно зависят от частоты. Поэтому для определения качества громкоговорителя необходимо знать его чувствительность (лучше абсолютную) при различных частотах в пределах воспроизводимой им полосы.

Графическое изображение зависимости чувствительности от частоты называется *частотной характеристикой* громкоговорителя.

На фиг. 1 показан способ определения средней чувствительности и частотных искажений громкоговорителя по его

частотной характеристике. На графике фиг. 1 по вертикальной оси отложены величины чувствительности в децибелах (за нуль принимается произвольно выбранная величина чувствительности), а по горизонтальной — частоты в герцах. Чем ровнее идет характеристика, тем меньше частотные искажения.

Для того чтобы определить численные значения частотных искажений (неравномерность частотной характеристики), нужно рассчитать в интересующей нас полосе частот среднюю чувствительность E_{cp}. Она определяется, как высо-



Фиг. 1. Определение средней чувствительности и частотных искажений громкоговорителя по его частотной характеристике.

та обведенного утолщенными линиями прямоугольника, равновеликого заштрихованной площади между границами заданной полосы частот. Частотные искажения определяются при этом двумя числами: N_1, показывающим, на сколько децибел максимальная чувствительность (наибольший пик в заданной полосе) выше средней, и N_2, показывающим, на сколько децибел минимальная чувствительность (наибольший провал) ниже средней.

Для громкоговорителя, обладающего частотной характеристикой, показанной на фиг. 1, в полосе частот 100—4 000 *гц* $N_1 = +3{,}2$ *дб* и $N_2 = -2{,}8$ *дб*. На практике для оценки частотных искажений (неравномерности частотной характеристики) часто берут разность между точками наибольшего выброса и провала и делят ее на два. В нашем случае

$$N = \pm \frac{11{,}2 - 5{,}2}{2} = \pm 3 \text{ дб}.$$

Нелинейные искажения. Зависимость звукового давления, развиваемого громкоговорителем, от величины воздействующей на него электрической мощности называется *амплитудной характеристикой.* Линейность этой характеристики на всех частотах в пределах передаваемого динамического диапазона показывает, что форма звуковых колебаний точно соответствует форме тех электрических колебаний, которые подводятся к громкоговорителю. В случае же нелинейности указанной характеристики форма звуковых колебаний искажается и возникают нелинейные искажения (см. стр. 9), причем на нижних частотах коэффициент гармоник громкоговорителей обычно во много раз больше, чем на средних и верхних.

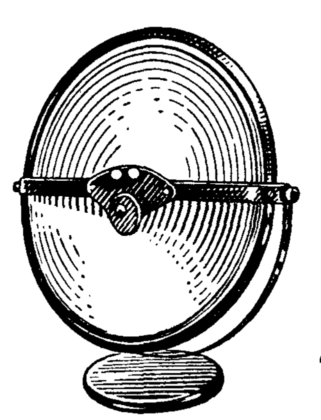
При воспроизведении речи и музыки подводимая мощность распределяется так, что на область самых нижних и верхних частот приходится лишь небольшая часть общей пиковой мощности (пиковые мощности для симфонической музыки приходятся на частоты от 250 до 500 *гц,* а для речи — от 500 до 1 000 *гц*), поэтому повышенный коэффициент гармоник в области нижних частот мало заметен. Так на частотах 50 ÷ 100 *гц* при номинальной мощности допустим коэффициент гармоник порядка 10—20%. Однако если громкоговоритель имеет частотную характеристику, суженную со стороны верхних частот (до 4 000—5 000 *гц*), то указанное допустимое значение коэффициента гармоник может быть в 1,5—2 раза бóльшим.

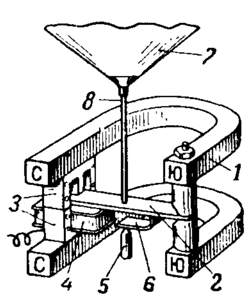
Направленность излучения. Графическое изображение распределения создаваемого громкоговорителем звукового давления на плоскости, секущей окружающее пространство и проходящей через центр излучающей системы громкоговорителя, называется *характеристикой направленности.* Она показывает зависимость чувствительности от направления излучения. Вид этой характеристики зависит от отношения излучающей поверхности к длине излучаемой звуковой волны. С повышением частоты (уменьшением длины волны) характеристика направленности становится более острой, т. е. звуковые давления, измеренные на одном и том же расстоянии от громкоговорителя, но под разными углами к его оси, будут уменьшаться тем быстрее, чем выше частота и больше угол измерения. Отсюда следует, что в разных направлениях частотная характеристика громкоговорителя будет различна.

Особо важное значение имеет характеристика направленности при работе громкоговорителей на открытых пространствах, где не наблюдается отражения звуков. Здесь условия слышимости определяются только прямым звуком, приходящим от громкоговорителя, а потому равномерность распределения интенсивности излучения существенно зависит от вида характеристики направленности. Отражения звука от границ закрытых помещений уменьшают эту зависимость, однако направленность излучения важна и для обеспечения равномерного озвучания таких помещений, особенно если это большие аудитории.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

Электромагнитные громкоговорители обладают сравнительно узкой полосой воспроизводимых частот при значительных частотных искажениях в этой полосе и вносят значительные нелинейные искажения особенно на нижних ча-





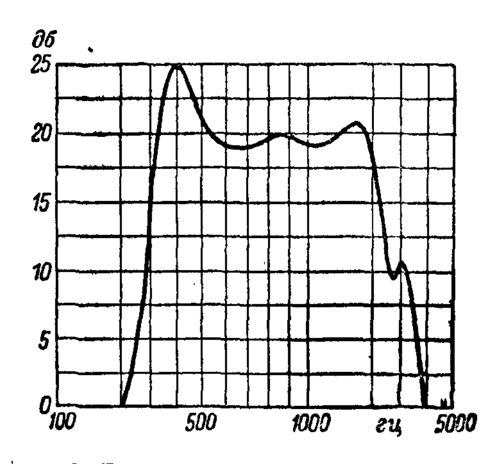
Фиг. 2. Громкоговоритель типа „Рекорд" и устройство его механизма.

стотах. Кроме того, их полное электрическое сопротивление сильно зависит от частоты. Поэтому в настоящее время громкоговорители этого вида имеют ограниченную область применения.

Рассмотрим наиболее распространенный электромагнитный громкоговоритель типа «Рекорд», вид и устройство механизма которого показаны на фиг. 2.

Два подковообразных магнита *1* зажимают между одноименными полюсами с одной стороны стальной якорь *2*,

а с другой — Ш-образные полюсные наконечники *3*, выполненные из пластин мягкой стали. На их средние выступы надеты катушки *4* (верхняя катушка не изображена). Между полюсными наконечниками находится незакрепленный конец якоря. При помощи регулировочного винта *5*, упирающегося в пружину *6*, приклепанную к якорю, последний устанавливается в промежутке между полюсными наконечниками в нейтральное положение, т. е. с одинаковыми зазорами. Катушки соединяются между собой так, чтобы маг-



Фиг. 3. Типовая частотная характеристика громкоговорителя „Рекорд".

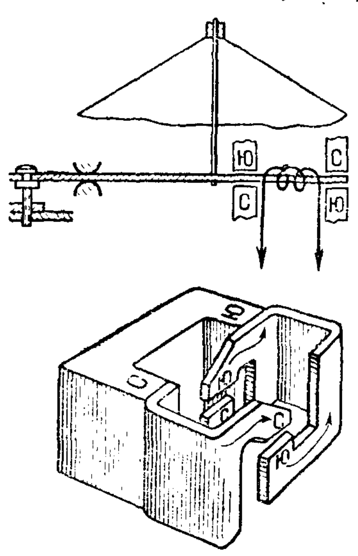
нитные потоки, создаваемые ими, складывались между собой. Тогда при прохождении через катушки тока звуковой частоты якорь будет колебаться и передавать звуковые колебания диффузору *7*, с которым он связан иглой *8*.

Полоса частот, воспроизводимая громкоговорителем «Рекорд», довольно узка, с значительным разбросом в различных экземплярах, но с характерными пиками в области 400 и 1 600 *гц*. На фиг. 3 дана типовая (усредненная) частотная характеристика громкоговорителя «Рекорд», из которой видно, что его рабочая полоса частот составляет 250—3 500 *гц* при частотных искажениях ± 10 *дб*.

Нелинейные искажения, вносимые «Рекордом», довольно велики. При номинальном напряжении 25—30 *в* коэффициент гармоник на частоте 300 *гц* равен около 8%. При

понижении частоты он резко возрастает, достигая 50% на частоте 100 *гц*.

Обмотки катушек громкоговорителя «Рекорд» имеют активное сопротивление до 600—2 000 *ом* и индуктивность около 3 *гн*. Потребляемая им мощность сильно зависит от частоты и колеблется от 0,2 *ва* на частоте 200 *гц* до 0,02 *ва* на частоте 4 000 *гц*. В среднем на частоте 1 000 *гц* потребляемая мощность составляет 0,05 *ва*.



Фиг. 4. Схема устройства и конструкция магнита с полюсными наконечниками модернизированного громкоговорителя „Рекорд".

Для регулировки громкости «Рекорда» на абонентской точке последовательно с ним включают переменное сопротивление, с помощью которого можно регулировать громкость воспроизведения передачи. Так как сопротивление регулятора громкости не зависит от частоты, а сопротивление катушек возрастает с частотой, то при слушании с пониженной громкостью нижние частоты бывают ослаблены больше, чем верхние. Для коррекции этих частотных искажений параллельно громкоговорителю нужно включить цепочку из конденсатора 0,1 *мкф* и сопротивления 4—5 *ком*.

В настоящее время местной промышленностью выпускается модернизированная модель громкоговорителя «Рекорд». Внешний вид его мало отличается от изображенного на фиг. 2, но механизм громкоговорителя (фиг. 4) коренным образом переработан. В нем применен магнит из сплава «альни» с высокой коэрцитивной силой. Якорь, расположенный в середине между полюсными наконечниками и внутри катушки, находится в равновесии. Поэтому силы притяжения его к полюсам равномерны, а постоянный магнитный поток, только пересекает его. Конструкция полюсных наконечников такова, что этот поток в одном зазоре переходит сверху вниз, а в другом снизу вверх. При прохождении по катушке тока звуковой частоты во время одного полупериода суммарный магнитный поток в одной паре

зазоров увеличивается, а в другой паре уменьшается. Во время другого полупериода происходит обратное явление. В результате якорь совершает колебания с частотой тока, проходящего по катушке громкоговорителя.

Громкоговоритель снабжен регулятором громкости, включенным последовательно с его катушкой и представляющим одно конструктивное целое с механизмом. Ось регулятора громкости и регулировочный винт, необходимый для правильной установки якоря в зазоре, выведены наружу через пластину, на которой собран весь механизм.

Кроме рассмотренных громкоговорителей можно встретить еще индукторные электромагнитные громкоговорители. Такие громкоговорители в настоящее время не выпускаются, и мы на них останавливаться не будем.

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ ПРЯМОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Электродинамические громкоговорители прямого излучения, конструкции которых известны с 1924 г., являются в настоящее время самыми лучшими в отношении качества воспроизведения и поэтому получили наибольшее распространение. Создание таких громкоговорителей, с постоянными магнитами из высококоэрцитивных сплавов разрешило проблему использования их не только в сетевых приемниках, но и в приемниках, питаемых от батарей и на радиотрансляционных сетях.

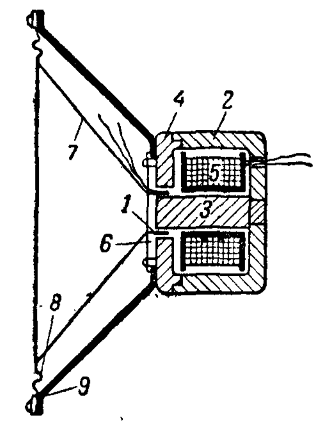
Однако и электродинамические громкоговорители имеют ряд существенных недостатков: они обладают малым к. п. д., вносят довольно существенные частотные искажения, а их характеристики направленности зависят от частоты.

Одна из конструкций электродинамического громкоговорителя прямого излучения (с электромагнитным возбуждением) показана в разрезе на фиг. 5.

Звуковая катушка *1* находится в воздушном кольцевом зазоре (щели), образованном противоположными полюсами электромагнита, состоящего из скобы *2*, керна *3*, фланца *4* и катушки возбуждения *5*. Звуковая катушка жестко связана с центрирующей шайбой *6* и диффузором *7*, который по краям прикреплен своим гофром *8* к диффузородержателю *9*.

Через катушку возбуждения пропускается постоянный ток (обычно от выпрямителя). При этом в кольцевом зазоре возникает сильное магнитное поле.

При прохождении по звуковой катушке переменного тока (получаемого через трансформатор от трансляционной сети, оконечного каскада приемника или усилителя) вокруг нее образуется переменное магнитное поле. Взаимодействуя с постоянным магнитным полем в кольцевом зазоре электромагнита, переменное магнитное поле заставляет колебаться звуковую катушку и связанный с ней диффузор. При этом он излучает в окружающее пространство звуковые волны. Амплитуда колебаний диффузора тем больше, чем сильнее постоянное и переменное магнитные поля, а с увеличением амплитуды колебаний диффузора возрастает и громкость звука.



Фиг. 5. Разрез диффузорного электродинамического громкоговорителя с электромагнитным возбуждением.

Электродинамические громкоговорители могут быть разделены на маломощные с номинальной мощностью до нескольких вольт-ампер и мощные — до 10—15 *ва*. Громкоговорители еще бóльших мощностей чаще бывают рупорными, так как последние обладают обычно более высоким к. п. д.

Конструкция звуковой катушки. Коэффициент полезного действия громкоговорителя тем больше, чем большее количество провода помещено в зазоре его магнитной системы, т. е. чем лучше заполнен объем зазора. Поэтому, звуковую катушку, как правило, выполняют из медного провода диаметром 0,15—0,25 *мм* в эмалевой изоляции. Более тонкие провода (диаметром 0,05—0,06 *мм*) не применяются, так как при их использовании получается худшее использование объема зазора (при большом числе витков их изоляция занимает относительно больше места). Кроме того, увеличение электрического сопротивления обмотки заставило бы подводить к звуковой катушке большее напряжение, которое может вызвать пробой изоляции. Наконец, катушку из более толстого провода легче изготовить (при этом и

выходной трансформатор получается более простым в изготовлении).

Наиболее распространены звуковые катушки с активными сопротивлениями от 2 до 12 *ом* (в зависимости от мощности громкоговорителя). Они содержат обязательно четное число слоев. При этом оба вывода катушки получаются с одной стороны (выводятся со стороны диффузора). Каждый слой обмотки пропитывается бакелитовым или целлюлозным лаком, обеспечивающим жесткую связь всех витков обмотки между собой и каркасом, на котором они намотаны. Выводы катушки выполняются из тонких гибких проводников, которые надежно крепятся лаком или нитками к оборотной стороне диффузора.

Звуковая катушка должна находиться точно в середине магнитного зазора, чтобы она могла двигаться вдоль своей оси, не задевая керн и фланец. Такое ее положение обеспечивается с помощью центрирующей шайбы, изготовляемой из гибкого материала. Для увеличения гибкости шайба имеет ряд вырезов или гофр.

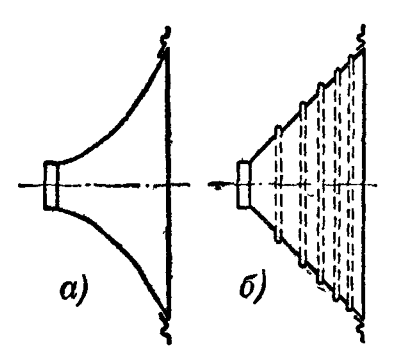
Центрирующая шайба приклеивается к катушке (в том же месте, где и диффузор) и скрепляется с неподвижными частями громкоговорителя либо в центре керна (внутренняя шайба), либо на переднем фланце (внешняя шайба). Последний способ крепления обеспечивает бóльшую радиальную жесткость и большую свободу перемещения катушки и диффузора в осевом направлении.

Диффузор. Основное требование, предъявляемое к диффузору, заключается в том, что при возможно меньшей массе, необходимой для хорошего воспроизведения верхних частот, он должен обладать такой механической прочностью (жесткостью), чтобы в области нижних частот он колебался как поршень. Помимо этого диффузор должен иметь возможно бóльшую площадь, величина которой определяет излучающую способность громкоговорителя. Эти противоречивые требования к излучению колебаний нижних и верхних частот вызывают необходимость компромиссного выбора формы и размеров диффузора и материала для его изготовления.

Чтобы диффузор обладал достаточной жесткостью, ему придается коническая форма с оптимальным углом раскрытия от 90 до 120°. При бóльших углах диффузор оказывается недостаточно жестким, а при меньших — слишком тяжелым.

В большинстве современных электродинамических громкоговорителей применяются литые бесшовные диффузоры из бумажной массы (часто с примесью шерсти), которая в жидком виде осаждается на специальные формы и просушивается. При кустарном изготовлении диффузоров применяют не слишком жесткую, но плотную бумагу (типа «полуватман»). Диаметр диффузора зависит от мощности громкоговорителя. В особо мощных типах он достигает 40 *см.*

При работе громкоговорителей мощностью от 5—10 *ва* во время наиболее громкого воспроизведения средних частот наблюдается дребезжание их диффузоров. Эти искажения возникают вследствие так называемых *параметрических колебаний* конуса, имеющих частоту, в 2 раза меньшую частоты тока, подводимого к громкоговорителю. Для устранения этих искажений применяют диффузоры с криволинейной образующей (фиг. 6,*а*) или с кольцевой гофрировкой (фиг. 6,*б*). Такие диффузоры могут быть изготовлены только методом литья или прессования из бумажной массы.

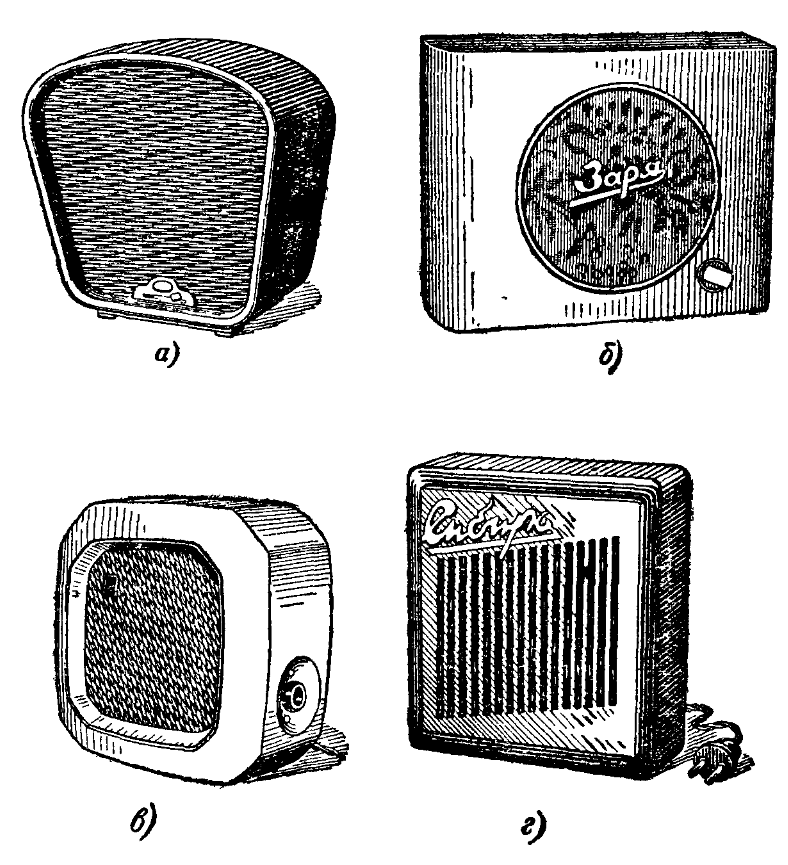


Фиг. 6. Виды диффузоров.
а — с криволинейной образующей; *б* — гофрированный.

Магнитная система. Коэффициент полезного действия громкоговорнтеля зависит от магнитной индукции, создаваемой в рабочем зазоре постоянного магнита или электромагнита. Чем меньше ширина этого зазора, тем бо́льшая при прочих равных условиях получается магнитная индукция. Однако по конструктивным и электрическим соображениям рабочие зазоры делают шириной 1—2 *мм* при высоте щели 5—10 *мм.* Магнитопровод в большинстве случаев выполняют в виде скобы или стакана.

У громкоговорителей мощностью не более 3 *ва*, имеющих электромагнитное возбуждеине, обмотка возбуждения обычно включается последовательно с анодными цепями приемиика и используется в качестве дросселя фильтра. В этом случае ее активное сопротивление бывает в пределах 750 ÷ 1 500 *ом.* В случае параллельного включения

обмотка возбуждения должна иметь сопротивление 5 000 ÷ 10 000 *ом*. Более мощные громкоговорители обычно имеют низковольтную обмотку возбуждения, питаемую от отдельного выпрямителя.



а) б) в) г)

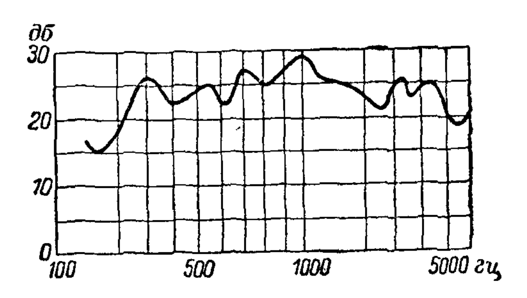
Фиг. 7. Абонентские громкоговорители для трансляционных сетей.
а — ДГМ; *б* — ДАГ-1 „Заря"; *в* — ГДТ-1; *г* — „Сибирь".

Параметры и характеристики. Громкоговорители прямого излучения нашли широкое применение как в радиолюбительской и промышленной аппаратуре, так и на радиотрансляционных сетях. Они выпускаются в разнообразном оформлении мощностью от 0,1 ÷ 0,25 *ва* (фиг. 7) и

выше. Основные данные ряда типов таких громкоговорителей приведены в табл. 1.

Типовая частотная характеристика одного из трансляционных электродинамических громкоговорителей (ДАГ-1 «Заря») дана на фиг. 8.

Радиотрансляционные сети имеют номинальное напряжение у абонентской точки 30 или 15 *в*. Поэтому внутри ящика громкоговорителя всегда имеется трансформатор, согласующий малое сопротивление звуковой катушки с величиной, требуемой для нормальной работы сети. Первичная обмотка, полностью включаемая в сеть напряжением



Фиг. 8. Типовая частотная характеристика громкоговорителя ДАГ-1 „Заря".

30 *в*, имеет вывод от среднего витка, который используется, когда громкоговоритель нужно подключить к сети напряжением 15 *в*. Входное сопротивление абонентского громкоговорителя с трансформатором в рабочей полосе частот в первом случае обычно равно 3 500 ÷ 6 000 *ом*, а во втором — в 4 раза меньше.

Кроме трансформатора, в ящике громкоговорителя имеется регулятор громкости с диапазоном регулировки не ниже 20 *дб*. Ручка (или рычажок) регулятора выводится на лицевую или боковую стенку ящика.

Наиболее распространенные громкоговорители, предназначенные для работы в радиоприемниках второго и третьего классов, имеют мощности 1—3 *ва* (фиг. 9). Более мощные громкоговорители, до 10—15 *ва*, предназначаются для радиоприемников первого класса, мощных радиол, а также для звукофикации кинотеатров и других помещений.

В табл. 2 приводятся параметры ряда таких громкоговорителей.

Таблица 1

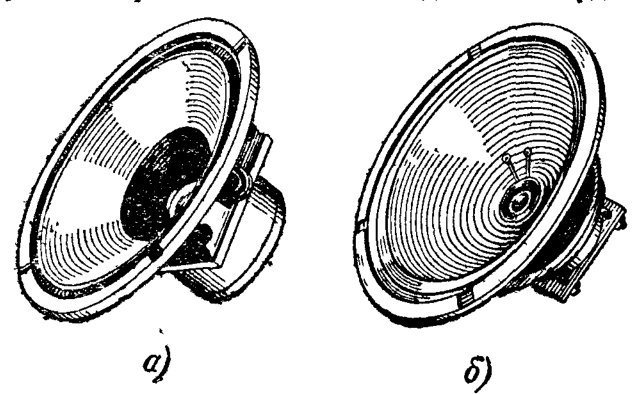
Параметры и конструктивные данные	Диффузорные				Рупорные				
	ДГМ	ДАГ-1 „Заря"	ГДТ-1	„Сибирь"	СГ-1	Р-10	Р-100	РД-10	РД-100
Номинальная мощность, *ва*	0,15	0,25	0,1	0,25	0,04	10	100	10	100
Диапазон частот, *гц*	150—4 500	150—6 000	150—6 000	150—5 000	200—5 000	250—4 000	200—3 000	200—3 500	200—3 200
Неравномерность частотной характеристики, *дб*	20	20	12	20	20	20	20	6	20
Среднее звуковое давление (чувствительность)[1], *бар*	1,8	1,8	5,6	1,5	3,2	6	12	11	7
Коэффициент гармоник, %	7	7	10—5[2]	7	15—7[3]	10[3]	10[4]	10[5]	20[5]
Сопротивление звуковой катушки, *ом*	—	—	2,5	3,25	2,8	2,0	—	16	40÷45
Габариты ящика, *см*	24×22×9,5	29,5×23,2×12,8	25×25×11,2	21×17×8	—	—	—	—	—
Диаметр выходного отверстия рупора (устья), *см*	—	—	—	—	23	38	60	—	—
Полная длина рупора, *см*	—	—	—	—	13,2	34	85,5	—	—
Сопротивление катушки возбуждения, *ом*	—	—	—	—	—	—	—	3 200	850
Мощность возбуждения, *вт*	—	—	—	—	—	—	—	15	57
Диапазон регулировки громкости, *дб*	20	20	30	20	20	—	—	—	—

[1] На расстоянии 1 *м* по оси при подводимой мощности 0,1 *ва*.
[2] Коэффициент гармоник при 150 *гц*.
[3] То же при 400 *гц*.
[4] То же при 1 000 *гц*.
[5] То же при 200 *гц*.

Параметры и конструктивные данные	1-ГДМ-1,5 (1,5-ГД-1)	1,5-ГД-2	3-ГД-2	5-ГЭД-5	10-ГД-4
Номинальная мощность, *ва*	1,5	1,5	3	5	10
Диапазон частот, *гц*	150—5 000	150—5 000	100—6 000	70—6 500	70—8 000
Неравномерность частотной характеристики, *дб*	15	15	12	12,5	12
Среднее звуковое давление (чувствительность)[1], *бар*	2,5	4,5	3	4	3,5
Коэффициент гармоник, %	7	7	7	7	7
Резонансная частота подвижной системы, *гц*	120	120	80	70	60
Сопротивление звуковой катушки, *ом*	3	3	3	2	10
Ширина магнитного зазора, *мм*	1	1	1	1,1	1
Диаметр керна, *мм*	20	20	25	25	40
Наибольший диаметр, *мм*	150	150	200	250	250
Наибольшая высота, *мм*	68	90	110	135	137
Вес, *кг*	0,75	1,15	1,2	3,1	4,85
Сопротивление катушки возбуждения, *ом*	—	—	—	1 000	—
Мощность возбуждения, *вт*	—	—	—	9	—

[1] На расстоянии 1 *м* по оси при подводимой мощности 0,1 *ва*.
[2] Наибольший коэффициент гармоник при частоте до 150 *гц*.
[3] Двухполюсный громкоговоритель.
[4] Числа в знаменателе относится к высокочастотному звену.

Типовые характеристики некоторых применяемых в радиоприемниках громкоговорителей показаны на фиг. 10. Эти громкоговорители обеспечивают достаточно удовлетво-



Фиг. 9. Громкоговорители с постоянными магнитами для приемников второго и третьего классов.
а — громкоговоритель типа 1ГД-1; *б* — типа 2ГДМ-3.

Таблица 2

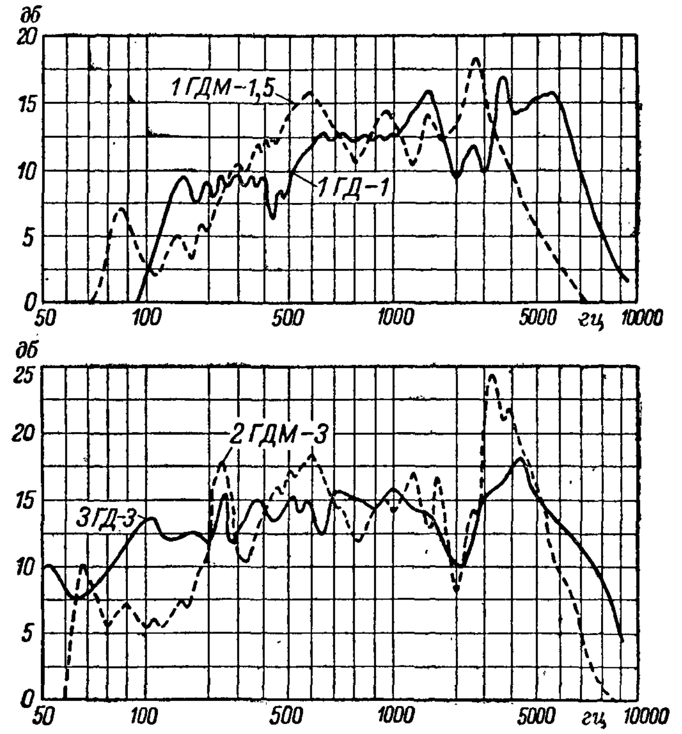
10-ГД-5	1-ГД-1	2-ГДМ-3	3-ГД-3	Б-912	Т-755	Т-689	10-ГД-6[3]
10	1	3	3	1	3	6	10
50—7 000	150—5 000	90—5 000	100—6 000	150—6 000	100—6 000	80—8 000	40—10 000
12	15	15	15	15	17	17	15
3,5	2,5	3	2,5	4	3,5	5,5	3
7	7	7	7	7	15—5[3]	12—5[3]	7
45	140	80	110	130	90	60	40/350[4]
10	2,8	3	3,4	2,8	2,65	11,5	10/10[4]
1	—	—	—	0,8	1	1,05	1,2/0,7[4]
40	—	—	—	—	24	37	60/40[4]
300	150	200	200	150	200	300	300
150	75	95	—	76	113	177	265
4,7	0,7	1,3	—	1,2	1 7	3	15,9
—	—	—	—	—	1 000	520	—
—	—	—	—	—	7,6	4,9	—

рительное воспроизведение музыкальных передач и весьма хорошее звучание речи.

Акустические качества громкоговорителей с электромагнитным возбуждением или с постоянным магнитом, рассчитанными на равную мощность, примерно одинаковы. Однако предпочтение следует оказывать громкоговорителям с постоянными магнитами, так как они имеют более простую конструкцию (отсутствует обмотка возбуждения) и поэтому более надежны в эксплуатации, обеспечивают экономию электроэнергии, работают в более легком тепловом режиме и, наконец, имеют постоянную магнитную индукцию в зазоре (при электромагнитном возбуждении индукция изменяется при колебаниях питающего напряжения).

Акустические экраны и ящики. Качество воспроизведения музыкальных передач в значительной мере определяется частотными искажениями в области нижних частот. Однако обеспечение хорошего излучения самых низких частот представляет известные трудности, так как громкоговорители резко снижают отдачу на частотах, лежащих ниже

их основной резонансной частоты, которая у большинства наиболее распространенных громкоговорителей лежит в пределах 50—120 *гц*. Поэтому желательно применять громкоговорители с достаточно низким собственным резонансом (конечно, не забывая и о воспроизведении верхних частот).



Фиг. 10. Типовые частотные характеристики наиболее распространенных громкоговорителей для радиоприемников.

К тому же условия излучения звуковой энергии громкоговорителем в области нижних частот весьма неблагоприятны. Они существенно зависят от внешнего оформления громкоговорителя.

Рассмотрим, какое влияние оказывает на работу громкоговорителя его внешнее оформление.

Диффузор громкоговорителя, двигаясь вперед, вызывает сжатие воздуха впереди себя и разрежение позади. Сжатие и разрежение равномерно распределяются по передней и

задней сторонам диффузора. Огибая диффузор, они «накладываются» друг на друга, в результате чего взаимно уничтожаются. При движении диффузора в обратном направлении получается то же явление[1]. Такой эффект называют акустическим «коротким замыканием». При этом вместо того чтобы передавать звуковые колебания дальше, диффузор перегоняет воздух с одной стороны на другую.

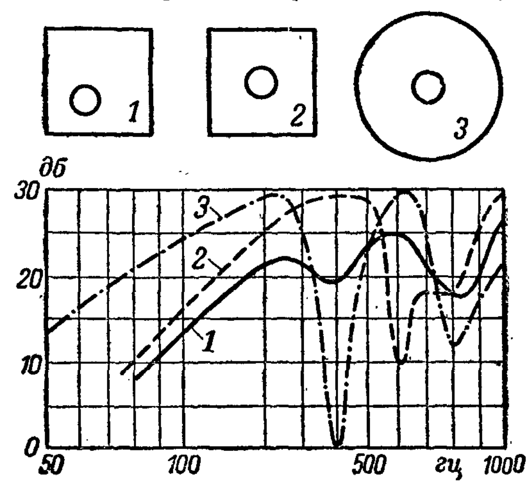
Для устранения этого явления применяют экран (щит), разграничивающий переднюю и заднюю излучающие стороны диффузора. Если размеры экрана будут не менее половины длины волны, соответствующей самой низкой излучаемой частоте, то «короткое замыкание» наблюдаться не будет и при всех меньших длинах излучаемых волн (более высоких частотах). При этом изменения давления в воздушном слое, непосредственно примыкающем к диффузору, будет передаваться соседним слоям воздуха и направляться дальше, т. е. будет происходить излучение звука. Ящик с открытой задней стенкой, являясь как бы «сложенным» экраном, оказывает такое же действие.

Однако частотная характеристика громкоговорителя зависит не только от размеров экрана (щита), но и от места расположения громкоговорителя в экране. На фиг. 11 приведены частотные характеристики громкоговорителя, помещенного у края (кривая *1*) и в середине (кривая *2*) квадратного экрана размером 80 × 80 *см*, а также в центре круглого экрана диаметром 130 *см*. В последнем случае (кривая *3*) резко выражены провалы на частотах 400 и 800 *гц*. Объясняется это тем, что при круглой форме экрана создается во всех направлениях одинаковая разность хода звуковых волн, излучаемых передней и задней сторонами диффузора, и поэтому прямые и огибающие волны с частотой 400 *гц* приходят в точку восприятия звука, расположенную на оси громкоговорителя, точно в противофазе и взаимно гасятся. Если бы явление огибания (дифракция) не зависело, от частоты, то акустическое «короткое замыкание» для выбранных размеров экрана и данном громкоговорителе наблюдалось бы при всех частотах, кратных 400 *гц*. Но так как на частоте 800 *гц* отношение длины звуковой волны к площади экрана

[1] Способность звуковых волн огибать препятствия, стоящие на пути их распространения (дифракция), выражается тем более отчетливо, чем больше длина звуковой волны по сравнению с размерами препятствия.

меньше, то и провал на характеристике значительно меньше, чем на частоте 400 *гц*.

Следовательно, круглая форма щита непригодна для акустического экрана. Квадратный экран дает лучшую частотную характеристику, однако располагать громкоговоритель в центре его не следует во избежание все же достаточно глубоких провалов (кривая *2* на фиг. 11). При несимметричном расположении громкоговорителя в квадратном (или

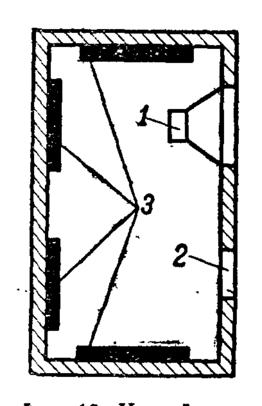


Фиг. 11. Зависимость частотных характеристик громкоговорителя от места расположения и формы акустического экрана.

прямоугольном) экране получается лучшая частотная характеристика (кривая *1* на фиг. 11). Наличие большего завала самых низких частот (ниже 200 *гц*) при квадратной форме экрана (независимо от расположения громкоговорителя), чем при круглой, объясняется тем, что площадь последнего в 2 раза больше. Чтобы получить достаточно хорошее воспроизведение нижних частот, необходимо иметь экран в несколько квадратных метров. Однако экраны слишком больших размеров неудобны, дороги и поэтому почти не применяются.

Вместо акустических экранов (щитов) можно использовать ящики без задней стенки, причем ящик по своим акустическим свойствам будет равноценен щиту, если утроенная полусумма ширины и длины ящика равна стороне эквивалентного экрана.

Может показаться, что вместо большого щита или ящика без задней стенки можно применить небольшой ящик с задней стенкой, не позволяющей обратной стороне диффузора излучать звук наружу, и, таким образом, совершенно исключить возможность акустического «короткого замыкания». Однако это не так. Упругость замкнутого в ящике воздушного объема, складываясь с упругостью механической системы громкоговорителя, повышает его собственную резонансную частоту и тем самым еще больше уменьшает отдачу на самых низких частотах. Наличие такого замкнутого объема приводит и к ряду нежелательных резонансных явлений в области более высоких частот. Поэтому такие ящики на практике почти не применяются.



Фиг. 12. Устройство фазоинвертора.

1 — громкоговоритель; 2 — дополнительное отверстие; 3 — звукопоглощающий материал.

Хорошая частотная характеристика диффузорного громкоговорителя может быть достигнута применением фазоинвертора, представляющего собой относительно небольшой закрытый ящик специальной конструкции с небольшим отверстием, располагаемым обычно под громкоговорителем (фиг. 12). Размеры ящика и этого отверстия рассчитываются таким образом, чтобы звуковые колебания нижних частот, излучаемые обратной стороной диффузора, выходили в окружающую среду через отверстие в фазе с колебаниями, излучаемыми передней стороной диффузора. Достигается это потому, что закрытый ящик и смонтированный в нем громкоговоритель представляют две связанные акустические системы; объем воздуха, заключенный в дополнительном отверстии, является элементом связи этих двух систем, обеспечивающим нужное соотношение фаз. Изменением размеров этого отверстия можно осуществить подъем нижних частот. Внутренние стенки фазоинвертора рекомендуется покрывать звукопоглощающим материалом; это устраняет нежелательное влияние собственных колебаний воздушного объема в области более высоких частот.

С фазоинвертором при надлежащем выборе его размеров можно получить повышение чувствительности громкоговорителя в области частот 80—250 *гц* более чем в 2 раза

(на 6—8 *дб*). Для этого в нем нужно установить громкоговоритель с достаточно большим диффузором или несколько небольших громкоговорителей, работающих в фазе и обладающих соответствующей суммарной мощностью. Они должны иметь резонансы подвижных систем в области возможно более низких частот (не выше 70 *гц*).

Для изготовления фазоинверторов, а также акустических экранов и ящиков во избежание возникновения колебаний их стенок необходимо применять материалы, обладающие достаточной толщиной. Хорошим материалом является многослойная фанера толщиной 10—15 *мм*. Стенки ящиков должны быть хорошо пригнаны, проклеены и прошпаклеваны. Какие-либо щели или трещины недопустимы.

РУПОРНЫЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

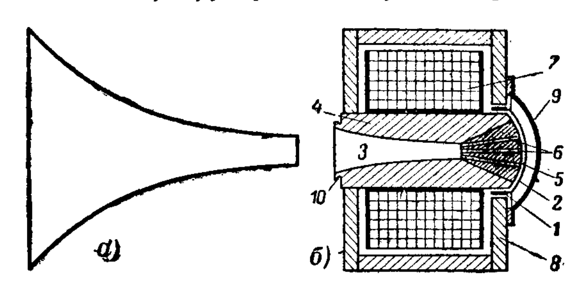
Рупорные громкоговорители имеют более высокий к. п. д., чем диффузорные при частотных искажениях, не превышающих допустимые, и дают возможность получения значительных звуковых мощностей; кроме того, их направленность излучения не так сильно меняется с частотой, как направленность диффузорных громкоговорителей. Благодаря этому рупорные громкоговорители нашли широкое применение при озвучании больших помещений, а также улиц и площадей.

Причина низкой эффективности излучателя малых по сравнению с длиной волны размеров коренится в быстром уменьшении звукового давления по мере удаления от излучателя, так как создаваемые колеблющейся поверхностью сжатия и разрежения тут же получают возможность распространяться в неограниченном пространстве. Заставляя же излучатель работать на рупор, мы получаем достаточно медленное убывание звукового давления, так как с помощью рупора происходит концентрация звукового давления.

Форма и размеры рупора должны быть рассчитаны так, чтобы излучатель, воздействуя на внутренний объем воздуха в рупоре, мог совершать максимально возможную работу при данной амплитуде колебаний почти независимо от частоты. В начальной части рупор должен расширяться очень медленно. Это необходимо для того, чтобы давление, создаваемое излучателем, не уменьшалось слишком резко. С другой стороны, необходимо иметь достаточно большое оконечное отверстие (устье), чтобы избежать отражения от

него звуковых волн обратно в рупор, вызываемого скачкообразным изменением давления на границе рупора с внешней средой. Таким условиям лучше всего удовлетворяет экспоненциальный рупор (фиг. 13,*а*), сечение которого вначале изменяется мало, а с приближением к устью резко увеличивается; эти рупоры и получили почти исключительное применение.

Конструктивными элементами рупорного громкоговорителя являются: рупор, излучающая система (головка) и соединяющая их предрупорная камера. На фиг. 13,*б* пока-



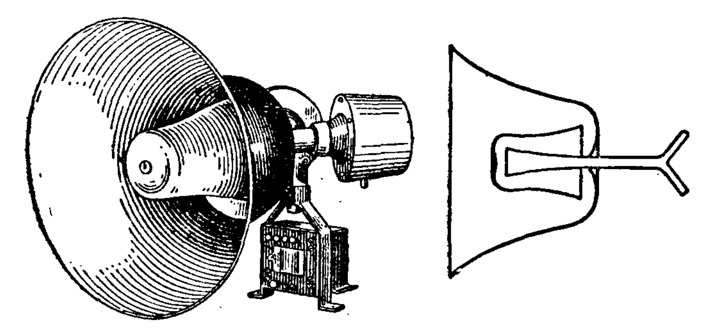
Фиг. 13. Устройство рупорного электродинамического громкоговорителя.

а — рупор; *б* — излучающая система — головка (показана в увеличенном, по сравнению с рупором, масштабе).

зано в разрезе устройство головки широко распространенного рупорного уличного громкоговорителя РД-10. Его подвижная система состоит из звуковой катушки *1* и металлической диафрагмы *2*, имеющей сферическую форму, которая и придает ей необходимую жесткость. Звуковая катушка обычно наматывается алюминиевым проводом, так как применение медного провода снижает отдачу громкоговорителя на верхних частотах. Крепление диафрагмы осуществляется посредством плоского воротника, который зажимается по окружности, сообщая подвижной части необходимую упругость в осевом направлении. Начало рупора *3* проходит внутри керна *4* и соединяется с предрупорной камерой *5* посредством радиальных имеющих одинаковую длину каналов *6*, создающих равные пути для звуковых волн, идущих от различных точек колеблющейся диафрагмы к горлу рупора, которого они и достигают поэтому с одной и той же фазой. Если бы каналов не было, то все эти звуковые волны достигали бы горла рупора с различными фазами, что вы-

звало бы ослабление колебаний (интерференцию) в области верхних частот, т. е. снижение отдачи громкоговорителя. На керне *4*, являющемся одним из полюсов магнитной системы, надета катушка возбуждения *7*; вторым полюсом магнитной системы является передний фланец *8*. В кольцеобразном зазоре этих полюсов помещается звуковая катушка *1*. Крышка *9* защищает диафрагму от механических повреждений. Горло рупора навинчивается на отросток *10*, имеющий резьбу.

Действие головки рупорного громкоговорителя совершенно аналогично действию диффузорных электродинами-



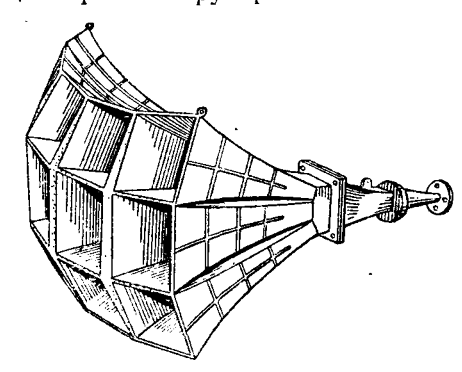
Фиг. 14. Общий вид и схематический разрез рупора, мощного рупорного громкоговорителя Р-100.

ческих систем, описанных выше. В последнее время и в таких громкоговорителях широко применяются постоянные магниты.

В более мощных рупорных громкоговорителях применяются по две и более головок, соединяемых с одним большим рупором. Примером такой конструкции является уличный рупорный громкоговоритель с двумя головками Р-100 (фиг. 14), имеющий номинальную мощность 100 *ва*. Чтобы этот громкоговоритель мог отдавать большую мощность при удовлетворительных параметрах (см. табл 1 на стр. 23), пришлось применить большой и длинный рупор; для сокращения его осевой длины он разделен на три входящие друг в друга секции. Это сделало громкоговоритель более удобным и прочным. Головки имеют постоянные магниты. Громкоговоритель снабжен согласующим трансформатором, позволяющим подключать его к трансляционным линиям с напряжениями 60, 120 и 240 *в*.

Рупорные громкоговорители применяются также в каче-

стве высокочастотных звеньев двухполосных громкоговорителей (см. ниже). Специально для них были сконструированы секционированные (многоканальные) рупоры. Такой рупор представляет собой совокупность нескольких экспоненциальных рупоров одинакового размера, оконечные отверстия которых, соприкасаясь смежными краями друг с другом, образуют многогранную (почти сферическую) поверхность (фиг. 15). Секционирование рупора обеспечивает достаточно широкую характеристику направленности в рабочей полосе частот. Угол расхождения всей излучаемой звуковой энергии здесь практически не меняется, так как определяется веером осей отдельных каналов, хотя направленность каждого отдельного канала рупора обостряется с частотой.



Фиг. 15. Секционированный (многоканальный) рупор.

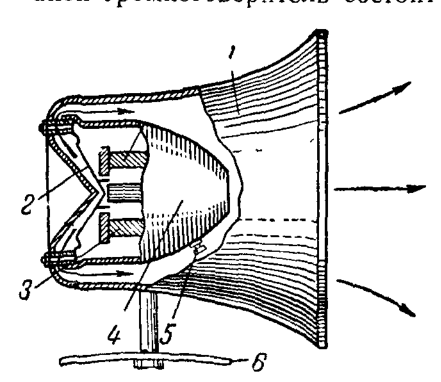


Громкоговорители с направляющим рупором. В последнее время для озвучания улиц и площадей широкое распространение получили громкоговорители, в которых в качестве излучающих систем применяются обычные электродинамические громкоговорители с диффузорами небольших размеров (не более 15 *см* в диаметре), работающие на рупоры с большими площадями входного отверстия (только в 1,5—2 раза меньше излучающей поверхности диффузора). Их принято называть громкоговорителями с направляющими рупорами.

При применении подобного рупора излучение передней стороны диффузора значительно более интенсивно по сравнению с излучением задней стороны. Это приводит к более рациональному использованию подводимой к громкоговорителю мощности. По своим качественным показателям такие громкоговорители уступают ранее рассмотренным рупорным громкоговорителям, однако простота конструкции и возможность применения в качестве головок простых диффузорных громкоговорителей с постоянным магнитом делают их более доступными.

На фиг. 16 показано устройство типового громкоговорителя Р-10, предназначенного для озвучания улиц, площадей и больших закрытых помещений. Он имеет круглый алюминиевый свернутый рупор, внутри которого в особом обтекаемом кожухе находятся излучающая головка и согласующий трансформатор.

Для сельских радиотрансляционных сетей выпускаются в настоящее время малогабаритные, экономичные громкоговорители СГ-1 с направляющими рупорами (фиг. 17). Такой громкоговоритель состоит из типового (1ГД-1) электродинамического громкоговорителя *1*, наружного рупора *2*, внутреннего колпака *3*, согласующего трансформатора *4* и регулятора громкости *5*. Благодаря применению рупора к. п. д. громкоговорителя СГ-1 в 4 раза больше, чем у обычного громкоговорителя 1ГД-1. Поэтому СГ-1 и обладает большей чувствительностью, чем 1ГД-1. Номинальная мощность громкоговорителя СГ-1 равна 0,04 *ва*, однако к нему можно подводить мощность до 1,5 *ва* и использовать его как уличный громкоговоритель в сельских местностях или для обслуживания больших помещений. По размерам громкоговоритель СГ-1 не превосходит обычные абонентские громкоговорители (диаметр 230 и глубина 125 *мм*).



Фиг. 16. Устройство громкоговорителя Р-10.

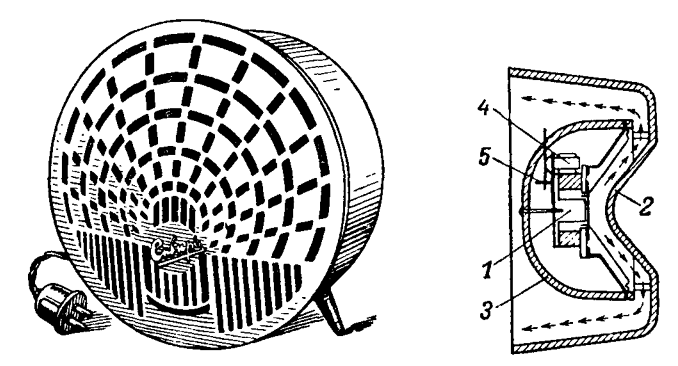
1—рупор; *2*—диффузор; *3*—магнитная система; *4*—обтекаемый кожух; *5*—зажимы для включения; *6*—кронштейн для крепления.

Для сокращения габаритов рупора при заданной его длине применяются и несколько более сложные конструктивные формы. Можно указать на деревянный рупор с перегородками, называемый лабиринтным.

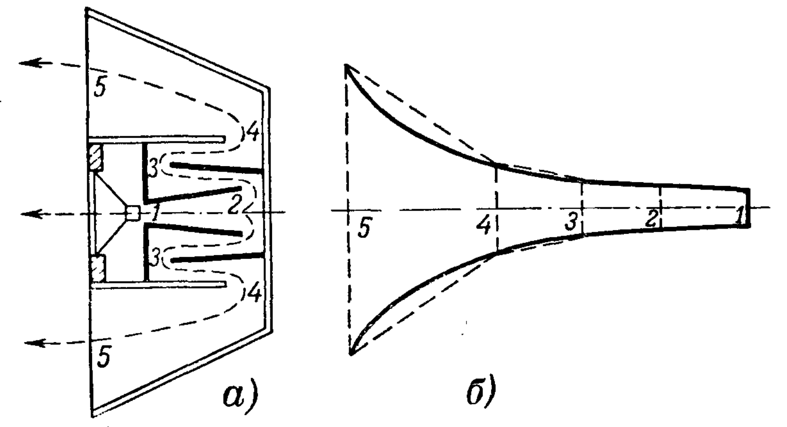
На фиг. 18,*а* схематически изображен экспоненциальный лабиринтный рупор, а на фиг. 18,*б* для наглядности показан обычный эквивалентный ему экспоненциальный рупор (соответствующие секции рупоров на обеих фигурах обозначены одинаковыми цифрами). Здесь на лабиринтный рупор

работает обратная сторона диффузора громкоговорителя, на которую возложена задача излучения нижних частот.

Лабиринты изготовляются очень тщательно, из выдержанного сухого дерева. Даже незначительная неплотность в пригонке переборок или трещины в досках вызывают заметное ухудшение воспроизведения нижних частот.



Фиг. 17. Внешний вид и устройство громкоговорителя СГ-1, предназначенного для сельских радиотрансляционных сетей.

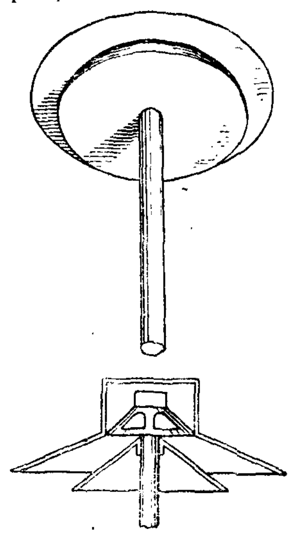


Фиг. 18. Экспоненциальный лабиринтный рупор (*а*) и эквивалентный ему обычный экспоненциальный рупор (*б*).

Недостатком лабиринтных рупоров является то, что многократные отражения звуковых волн от перегородок во время прохождения многочисленных секций вызывают в них появление стоячих волн и интерференционных явлений, а это приводит к значительным потерям в области верхних

частот (когда длина звуковой волны соизмерима с размерами секций лабиринта). Этот недостаток, в некоторой степени присущий и другим типам свернутых рупоров, является причиной того, что лабиринтные рупоры применяются редко.

Для работы на открытых местах (стадионах, аллеях парков и т. п.) сконструированы рупоры с радиальными рассеивателями. Они устанавливаются на мачтах (торшерах) и обеспечивают достаточно равномерное (круговое) распределение звуковой энергии по площади. Эти громкоговорители, установленные на мачтах, напоминают гигантские грибы (фиг. 19). Поэтому они получили название «грибовидных». Их внутреннее устройство аналогично устройству громкоговорителей с направляющим рупором.



Фиг. 19. Внешний вид и устройство „грибовидного" громкоговорителя.

Параметры и характеристики. Промышленностью выпускаются типовые рупорные громкоговорители номинальной мощностью от 10 до 100 *ва*, однако существуют громкоговорители мощностью до 1 000 *ва*.

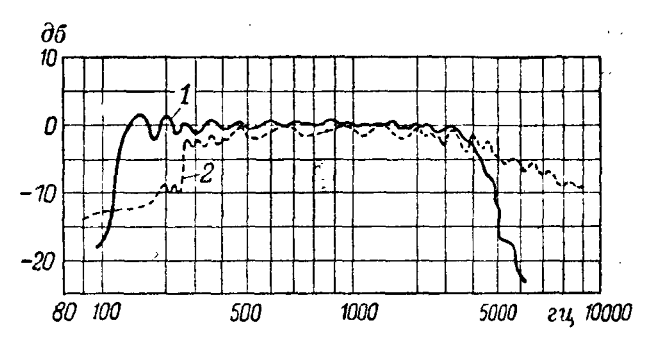
Коэффициент полезного действия типовых рупорных громкоговорителей достигает 20—25% в области средних частот, при абсолютной чувствительности порядка 100 *бар*/$\sqrt{вт}$. При сопротивлении звуковой катушки в 10—15 *ом* это соответствует относительной чувствительности 25—30 *бар*/*в* (на расстоянии 1 *м* по оси). Громкоговорители с направляющим рупором имеют к. п. д. около около 8—10% и абсолютную чувствительность 20—25 *бар*/$\sqrt{вт}$.

Ход частотной характеристики рупорного громкоговорителя в области нижних частот зависит в основном от параметров головки, а также от размеров рупора. Каждому рупору свойственна так называемая критическая (граничная) частота, ниже которой излучение звука через рупор оказывается недостаточно эффективным. Эта критическая частота тем ниже, чем более плавное расширение имеет рупор.

Ход частотной характеристики в области верхних частот зависит от того, насколько рационально сконструированы подвижная система головки и предрупорная камера.

Частотные характеристики лучших экземпляров рупорных громкоговорителей показаны на фиг. 20. Из них видно, что обычный громкоговоритель (кривая *1*) обладает более равномерной характеристикой в области средних частот (150 ÷ 4 000 *гц*) по сравнению с грокоговорителем, имеющим направляющий рупор (кривая *2*).

Нелинейные искажения, вносимые рупорными электродинамическими громкоговорителями, меньше, чем у диффузорных, вследствие лучшей демпфировки подвижных систем. Однако в рупорных громкоговорителях возникают нелинейные искажения вследствие высокой плотности звуковой



Фиг. 20. Частотные характеристики рупорных громкоговорнтелей.

1 — обычного типа; *2* — с направляющим рупором.

энергии в узком входном отверстии рупора, в связи с чем большие звуковые давления приходятся на малую площадь. Это вызывает изменение формы звуковых волн и искажения. Чем больше амплитуда и выше частота звуковых колебаний, тем больше нелинейные искажения. Поэтому коэффициент гармоник мощных рупорных громкоговорителей на средних частотах достигает 10%.

Характеристика направленности рупорных громкоговорителей в области нижних и средних частот достаточно удовлетворительно сохраняет свое постоянство. Форма такой характеристики зависит от соотношения размеров оконечного отверстия (устья) и длины звуковой волны на критической частоте рупора. Для сохранения постоянства характеристики направленности в возможно более широкой области частот размеры устья должны быть в 3—3,5 раза меньше длины звуковой волны на критической частоте рупора.

ДВУХПОЛОСНЫЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ И АГРЕГАТЫ

В связи с развитием техники радиовещания (вещание на УКВ с частотной модуляцией) и звукозаписи возникает вопрос о расширении воспроизводимой полосы в сторону верхних частот.

Какие же трудности стоят тут на пути конструктора?

При конструировании как диффузорных, так и рупорных широкополосных громкоговорителей приходится наталкиваться на резкие противоречия условий обеспечения одновременного воспроизведения нижних и верхних частот. Особенно отчетливо эти противоречия проявляются при конструировании громкоговорителей мощностью в 5 *ва* и выше.

Для того чтобы громкоговоритель мог эффективно воспроизводить нижние частоты, он должен иметь большой и прочный диффузор, выдерживающий без деформаций значительные пики акустической мощности, которые как раз имеют место на этих частотах, особенно во время музыкальных передач. Чтобы выдерживать значительную электрическую мощность нижних частот, звуковая катушка должна иметь большую поверхность охлаждения (1,5—2 $см^2/вт$ подводимой мощности). Следовательно, подвижная система должна иметь большую массу. Но для эффективного воспроизведения верхних частот диффузор с звуковой катушкой должен быть достаточно подвижным и легким (т. е. быть небольшого размера). А так как на область верхних частот приходится лишь небольшая часть общей пиковой мощности (около 5%), то их воспроизведение возможно при подвижной системе малого размера и малой массы.

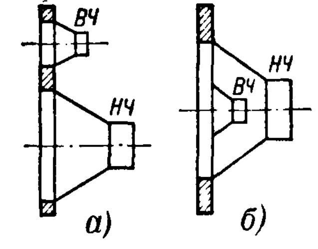
Как видно, противоречия, вытекающие из необходимости излучения довольно широкой полосы частот, налицо. В рупорных громкоговорителях эти противоречия выявляются более резко.

Задача воспроизведения широкой полосы частот практически может решаться либо применением в диффузорных электродинамических громкоговорителях сложной подвижной системы, либо использованием двух или более громкоговорителей различного устройства, предназначенных для воспроизведения различных участков частотного диапазона.

Для решения задачи первым способом в громкоговорителе нужно применять гофрированный или двойной диффузор и две звуковые катушки с различной массой, разделен-

ные гофрой. Однако практическая реализация таких конструкций громкоговорителей оказалась невозможной.

Более радикальным способом является разделение воспроизведения верхних и нижних частот между отдельными электродинамическими громкоговорителями. Практически оказалось достаточным подразделить рабочую полосу частот только на две части: от 30—40 до 500—1 000 *гц* и от 500—1 000 до 10 000 *гц* (частота разделения в пределах 500—1 000 *гц*). При необходимости воспроизведения еще более высоких частот (до 14—15 *кгц*) частоту разделения необходимо повышать до 3—4 *кгц* и выше. Такие двухполосные агрегаты громкоговорителей в настоящее время могут разрешить проблему высококачественного звуковоспроизведения.

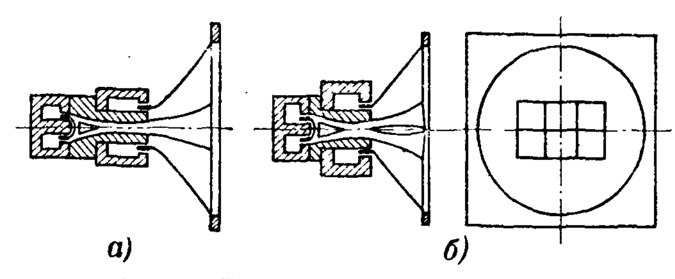


Фиг. 21. Простейшие двухполосные громкоговорители.
а — с разнесенными осями; *б* — соосные.

По конструктивному построению двухполосные громкоговорящие агрегаты можно подразделить на соосные и с разнесенными осями. В них используются как диффузорные, так и рупорные электродинамические громкоговорители, причем последние используются главным образом для воспроизведения верхних частот. Такие агрегаты ввиду высокого к. п. д. нашли широкое распространение в мощных звуковоспроизводящих установках, обслуживающих кинотеатры, залы и открытые площади.

Простейшая конструкция двухполосного агрегата, показанная схематически на фиг. 21,*а*, иногда применяется в радиоприемниках. Здесь в одном акустическом экране или ящике смонтированы два диффузорных громкоговорителя разных размеров, обладающих соответствующими частотными характеристиками. Однако такое расположение громкоговорителей не может быть рекомендовано, так как при слушании передачи в непосредственной близости от приемника неестественно воспринимается разделение источников звука. Соосное расположение громкоговорителей (фиг. 21,*б*) устраняет это неприятное явление, однако при этом в области частоты разделения могут возникнуть искажения из-за разной высоты конусов диффузоров. Если частоту разделения взять около 400 *гц*, эти искажения можно сделать почти незаметными.

Более совершенной является конструкция двухполосного громкоговорителя, в которой магнитные цепи обеих головок представляют единую систему. На фиг. 22,*а* приведен схематический разрез такого громкоговорителя. Здесь магнитная система «высокочастотной» головки расположена сзади «низкочастотной», в зазор которой помещена звуковая катушка, связанная с диффузором, предназначенным для излучения нижних частот. В зазоре другой магнитной системы находится вторая звуковая катушка, связанная со сферической диафрагмой, излучающей верхние частоты через рупор, начало которого проходит внутри керна «низкочастотной» системы, а продолжение внутри диффузора.



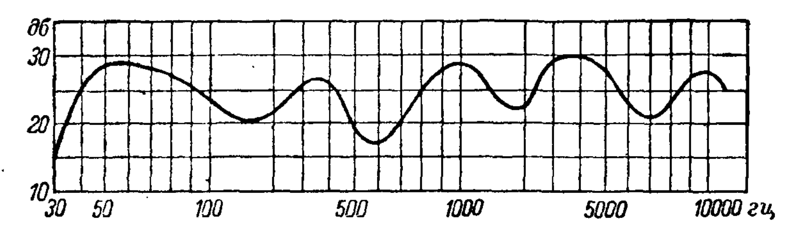
Фиг. 22. Двухполосные громкоговорители.

При желании улучшить характеристику направленности в области верхних частот можно применить секционированный рупор (фиг. 22,*б*). Выходное отверстие этого рупора должно находиться на уровне верхнего края «низкочастотного» диффузора, так как иначе возникают модуляционные искажения. Звуковые катушки подключаются к выходу усилителя через разделительный фильтр (см. ниже) с частотой разделения около 800—1 000 *гц*. Условием нормальной работы такого громкоговорителя является, конечно, надлежащее фазирование его подвижных систем.

Такой комбинированный диффузорно-рупорный двухполосный громкоговоритель обладает достаточно высокими эксплуатационными качествами. Примером такой конструкции является громкоговоритель типа 10-ГД-6, применяемый в качестве контрольного в радиовещательных студийных установках. Его частотная характеристика приведена на фиг. 23, а данные — в табл. 2 на стр. 24.

В мощных рупорных двухполосных громкоговорителях, предназначаемых для озвучания больших закрытых и от-

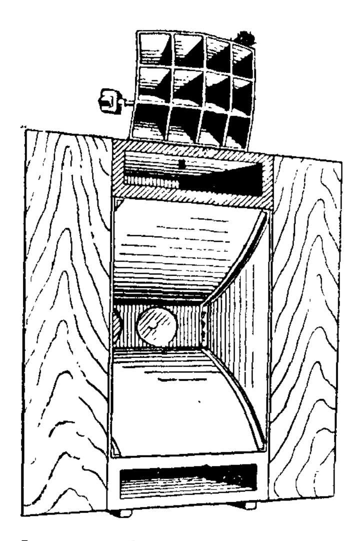
крытых площадей, расположение головок может быть не соосное, так как на значительном расстоянии от громкоговорителя разделение источников звука менее заметно. Здесь



Фиг. 23. Частотная характеристика двухполосного громкоговорителя 10-ГД-6.

желательно, чтобы длина рупоров обеих головок была одинаковой. Это уменьшает в полосе разделения искажения, происходящие из-за различной длины пути звуковых волн.

В качестве примера приведем описание двухполосного громкоговорящего агрегата типа 30А-2 (фиг. 24), входящего в комплект звукоусилительной аппаратуры КЗВТ-2 для кинотеатров.



Фиг. 24. Общий вид двухполосного громкоговорящего агрегата 30А-2.

Агрегат 30А-2 (фиг. 24) состоит из двух «низкочастотных» громкоговорителей и двух «высокочастотных» головок.

«Низкочастотные» громкоговорители этого агрегата, предназначенные для воспроизведения частот от 40 до 650 *гц*, представляют собой диффузорные громкоговорители с электромагнитным возбуждением, имеющие литые бумажные диффузоры с криволинейной образующей и толщиной, постепенно уменьшающейся к внешнему краю. Диаметр диффузора 380 *мм*, звуковые катушки намотаны медным проводом на штампованных профилированных каркасах. Оба эти громкоговорителя имеют общий деревянный рупор

экспоненциальной формы, расположенный в деревянном прямоугольном ящике, внутренний объем которого образует заднюю камеру рупора. Ящик имеет отверстия, расположенные симметрично по двум его сторонам. Для повышения отдачи в области самых низких частот рупор имеет боковые щиты, примыкающие к нему с обеих его сторон в плоскости выходного отверстия.

«Высокочастотный» громкоговоритель агрегата предназначен для воспроизведения частот примерно от 400 до 10 000 *гц*. Он имеет металлический двенадцатисекционный рупор, на который работают две головки. «Высокочастотная» головка представляет собой электродинамическую конструкцию с электромагнитным возбуждением; ее подвижная система имеет диафрагму сферической формы, изготовленную из дюралюминиевой фольги толщиной 60 микрон. Звуковая катушка намотана алюминиевым проводом диаметром 0,15 *мм* в эмалевой изоляции. Вес подвижной системы около 2 *г*.

«Высокочастотный» громкоговоритель устанавливается (на верху «низкочастотного» рупора) на металлической подставке, позволяющей регулировать угол наклона «высокочастотного» рупора, правильно ориентируя его по отношению к слушающим.

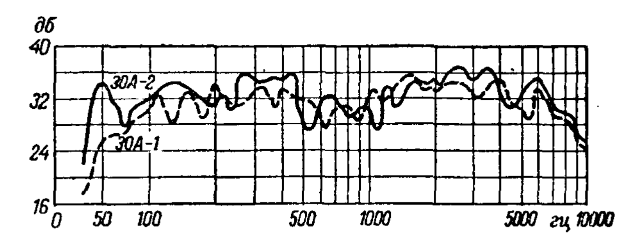
Менее мощный комплект аппаратуры КЗВТ-1 имеет аналогичный по конструкции двухполосный агрегат 30А-1, отличающийся от агрегата 30А-2 тем, что в «низкочастотном» и «высокочастотном» звеньях работает только по одной головке. Размеры агрегата 30А-1 составляют 244 × 182 × × 101 *см*, а агрегата 30А-2 равны 282 × 206 × 140 *см*.

Номинальная мощность каждой головки равна 10 *ва*. Следовательно, номинальная мощность агрегата 30А-2 составляет 40 *ва*, а агрегата 30А-1 равна 20 *ва*. Средняя абсолютная чувствительность в рабочем диапазоне частот равна соответственно 40 и 35 $бар/\sqrt{вт}$.

Как видно из характеристик агрегатов (фиг. 25), вносимые ими частотные искажения не превышают $\pm$ 8 *дб* у агрегата 30А-1 и $\pm$ 6 *дб* у агрегата 30А-2.

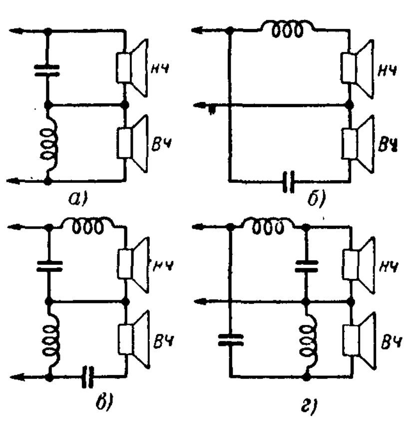
Частота разделения звукового диапазона аппаратуры КЗВТ-1 и КЗВТ-2 выбрана равной 550 *гц*, причем разделение осуществляется, начиная с входа усилителя (усиление осуществляется по двум самостоятельным каналам, каждый из которых рассчитан на соответствующую полосу частот). Выходные каскады каналов нагружены на соответствующие

головки. Используемый здесь принцип сквозного двухполосного усиления позволяет значительно улучшить качественные характеристики звуковоспроизводящего тракта.



Фиг. 25. Частотные характеристики двухполосных агрегатов 30А-1 и 30А-2.

Разделительные фильтры. В некоторых двухполосных звуковоспроизводящих устройствах сквозное двухполосное усиление не применяется. В этих случаях звуковые катушки «низкочастотной» и «высокочастотной» головок двухполосного громкоговорителя необходимо подключать к выходу усилителя через разделительный фильтр. Задачей такого фильтра является распределение подводимой электрической мощности на две части таким образом, чтобы колебания с частотами, лежащими ниже частоты разделения, подавались на «низкочастотную» головку, а колебания с частотами, лежащими выше, — на «высокочастотную».

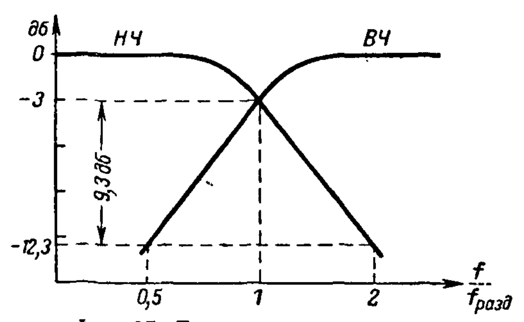


Фиг. 26. Схемы разделительных фильтров.

Схемы разделительных фильтров приведены на фиг. 26. В них используется то обстоятельство, что емкостное сопротивление конденсатора падает с частотой, тогда как индуктивное сопротивление дросселя возрастает. Звуковые катушки громкоговорителей в схемах фиг. 26,*а* и *в* включены последовательно, а в схемах 26,*б* и *г* — параллельно выходу усилителя.

Емкость конденсаторов и индуктивности дросселей разделительных фильтров зависят от сопротивления звуковых катушек и от выбранной частоты раздела. При надлежащем выборе конденсаторов и дросселей входное сопротивление таких фильтров не зависит от частоты (при условии, что сопротивление звуковых катушек агрегата также не зависит от частоты).

Фильтр, к которому подключена звуковая катушка громкоговорителя *НЧ* («низкочастотного»), не должен создавать для нижних частот (до частоты деления) заметного затухания; в то же время для более высоких частот затухание



Фиг. 27. Типовая характеристика разделительного фильтра.

должно резко возрастать. Фильтр же, к которому подключена звуковая катушка громкоговорителя *ВЧ* («высокочастотного»), должен обладать большим затуханием для нижних частот, а частоты выше частоты деления — пропускать без ослабления.

На фиг. 27 приведены типовые частотные характеристики фильтров, выполненных по схеме фиг. 26,*в* и *г*. За единицу частоты здесь принята частота разделения (точка пересечения кривых), на которой мощность, подводимая к двухполосному агрегату, делится поровну между громкоговорителями. На этой частоте затухание, вносимое каждым из фильтров, равно 3 *дб*.

Крутизна спада характеристик в области фильтрации определяет степень разделения верхних и нижних частот; выражается она числом децибел, на которое увеличивается вносимое фильтрами затухание при изменении частоты на октаву (т. е. вдвое больше или меньше). Для надежной работы агрегата желательно иметь крутизну до 12—18 *дб* на

октаву. Дальнейшее увеличение крутизны может привести к возрастанию затуханий и в полосах пропускания.

Схемы, приведенные на фиг. 26,*в* и *г*, при условии постоянства входного сопротивления не могут дать крутизну спада больше чем 9,3 *дб* на октаву (фиг. 27), а схемы на фиг. 26,*а* и *б* — 4 *дб* на октаву. Однако в большинстве случаев крутизна в 9,3 *дб* на октаву оказывается достаточной. В установках, к которым не предъявляется особо жестких требований, допустимы и простейшие фильтры (с крутизной 4 *дб* на октаву).

Звуковые катушки громкоговорителей необходимо включать таким образом, чтобы они колебались в фазе. Фазировка осуществляется визуально, с помощью батареи в 1,5—4 *в*, которая присоединяется к выводам звуковой катушки при включенном напряжении возбуждения (если головка с электромагнитным возбуждением). Переключением концов батареи добиваются, чтобы все подвижные системы двигались в одну сторону (например, к себе). Тогда, отметив полярность подключения, нужно соединить звуковые катушки с соблюдением этой полярности (одноименные полюса при параллельном соединении и разноименные при последовательном). При такой фазировке высокочастотные головки необходимо отвинчивать от рупора для того, чтобы была видна их диафрагма.

Правильность фазировки можно проверять и на слух, пробуя переключать концы звуковой катушки или обмотки возбуждения. При неправильном включении громкость на средних частотах (около частоты разделения) заметно уменьшается. Однако последний способ надежен только для агрегатов, имеющих не больше двух головок. Наличие большего количества головок затрудняет фазировку на слух.

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

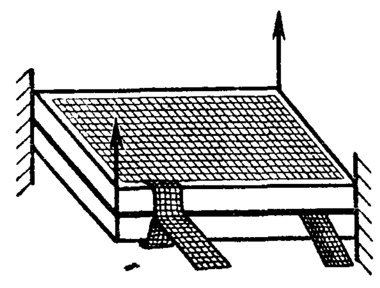
Впервые пьезоэлектрический эффект был открыт в 1880 г. братьями Кюри на кристаллах кварца. Выражается он в том, что при деформации некоторых кристаллов на их поверхности возникают электрические заряды, величина которых пропорциональна деформирующей силе. Этот эффект оказался обратимым, т. е. если к поверхности кристалла приложить электрическое поле, то оно вызывает деформацию кристалла тем бóльшую, чем больше это поле.

Кроме кварца, пьезоэлектрическим эффектом обладают естественные кристаллы турмалина, а также и ряд синтети-

ческих, специально выращиваемых кристаллов, к которым относятся сегнетовая соль, фосфат аммония и др. В последнее время разрабатываются специальные керамики, которые после воздействия на них сильного постоянного электростатического поля (предварительная поляризация) обладают устойчивым пьезоэффектом.

В громкоговорителях применяется сегнетовая соль (двойная соль калия и натрия винной кислоты), обладающая наибольшим пьезоэлектрическим эффектом.

Выращиваемые для производства громкоговорителей кристаллы сегнетовой соли имеют форму двенадцатигранных призм довольно больших размеров. В различных взаимоперпендикулярных направлениях, являющихся основными кристаллографическими осями, кристалл обладает различными пьезоэлектрическими свойствами. В направлении одной из этих осей, называемой электрической, пьезоэффект получается наибольший, поэтому пластинки вырезаются перпендикулярно именно этой оси. Если к двум параллельным плоскостям такой пластинки, предварительно металлизированным (имеющим обкладки), подключить некоторое постоянное напряжение, то в зависимости от полярности этого напряжения пластинка будет растягиваться по одной диагонали и укорачиваться по другой. При деформации же пластинки от действия внешней силы на ее плоскостях получаются противоположные по знаку электрические заряды.

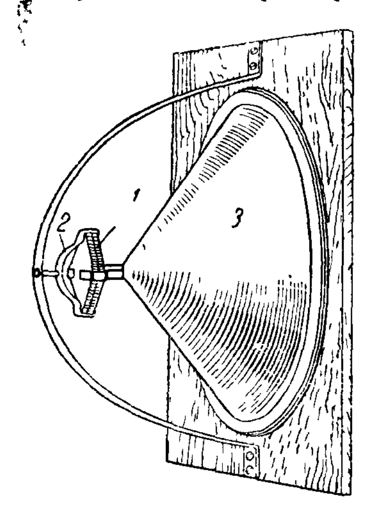

Фиг. 28. Биморфный пьезоэлемент.

В практике применяются системы из двух пластинок или брусков, называемые биморфными элементами (биморфами). Эти две пластинки склеиваются между собой специальным клеем так, что при подведении к ним электрического напряжения они в зависимости от приложенной полярности изгибаются в ту или другую сторону (фиг. 28).

Пластинки, из которых образуется пьезоэлемент, могут соединяться последовательно или параллельно. При последовательном соединении пластинок выводами служат две наружные обкладки, а при параллельном — внутренняя, общая для пластинок обкладка и соединенные вместе на-

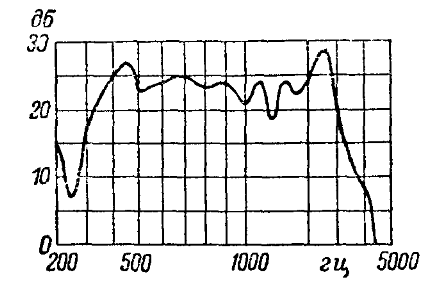
ружные обкладки. Биморфный элемент, соединенный последовательно, имеет вчетверо меньшую емкость и требует вдвое большего напряжения, чем соединенный параллельно.

В пьезоэлектрических громкоговорителях чаще всего применяется параллельное соединение пластинок. Наиболее употребительные размеры пьезоэлементов в этом случае составляют 50 × 40 × 2 *мм* и 30 × 30 × 2 *мм* при емкости порядка 4 000—2 000 *пф*.



Фиг. 29. Устройство пьезоэлектрического громкоговорителя.

В пьезоэлектрическом громкоговорителе (фиг. 29) биморфный пьезоэлемент *1* двумя углами прикреплен к скобе



Фиг. 30. Частотная характеристика пьезоэлектрического громкоговорителя.

2, а двумя другими его углами жестко связан с вершиной конуса диффузора *3*, укрепленного на доске или в ящике.

Типовая (усредненная) частотная характеристика одного из промышленных типов радиотрансляционных пьезоэлектрических громкоговорителей приведена на фиг. 30.

Внутреннее электрическое сопротивление пьезоэлектрического громкоговорителя довольно велико и имеет емкостный характер, т. е. падает с повышением частоты.

Пьезоэлектрические громкоговорители должны включаться в трансляционные сети через повышающие трансформаторы или автотрансформаторы хорошего качества, с коэффициентами трансформации от 2 до 4. Для коррекции частотных искажений (осуществления подъема нижних частот) последовательно с пьезоэлементом кроме регулято-

ра громкости включают еще постоянное сопротивление порядка 10 *ком*.

Укажем на недостатки пьезоэлектрических громкоговорителей с кристаллами из сегнетовой соли.

Кристаллы сегнетовой соли весьма гигроскопичны, поэтому пьезоэлектрические громкоговорители необходимо защищать от влаги. Кроме того, при температуре 40—45° С наблюдается падение чувствительности громкоговорителей, причем после длительного воздействия такой температуры чувствительность не восстанавливается. При температуре 53° С пьезоэлектрические элементы разрушаются (сегнетовая соль плавится при температуре 63° С). Таким образом, пьзоэлектрические громкоговорители должны еще охраняться и от перегрева. Если учесть еще небольшую механическую прочность кристаллов сегнетовой соли, требующую весьма осторожного обращения с пьезоэлементами, то станет совершенно ясным ограниченность применения пьезоэлектрических громкоговорителей, несмотря на их простоту, дешевизну и высокую чувствительность.

ЛИТЕРАТУРА

В. В. Фурдуев, Электроакустика, Гостехиздат, 1948.

В. В. Фурдуев, Акустика звукового кинопоказа, Госкиноиздат, 1945.

В. А. Красильников, Звуковые волны, Гостехиздат, 1951.

Ю. М. Сухаревский, Современная электроакустика и вещание по проводам, Связьтехиздат, 1936.

А. А. Харкевич, Электроакустическая аппаратура, Госэнергоиздат, 1933.

И. Е. Горон, Радиовещание, Связьиздат, 1944.

И. Г. Дрейзен, Курс электроакустики, Связьрадиоиздат, 1938.

Г. С. Геизель и Л. И. Мороз, Электроакустическая аппаратура, Речиздат, 1949.

М. С. Жук, Электродинамический громкоговоритель, Госэнергоиздат, 1950.

А. А. Хрущев, Новая система воспроизведения звука, Госкиноиздат, 1950.

Г. Головин и С. Эпштейн, Создатель громкоговорящего приема по проводам, „Радио", № 12, 1951.

М. Фипин, „Рекорд" с магнитом „альни", „Радио", № 12, 1950.

П. Ананьев, Качественные показатели пьезоэлектрических громкоговорителей, „Вестник связи", № 6, 1945.

Цена 1 р. 15 к.